

三次元モデルによる構造物・地盤系の動的相互作用に関する研究

京都大学工学部 正員 山田善一
 同上 正員 河野健二
 運輸省 正員 ○北沢壮介

1. まえがき

地盤との動的相互作用を考慮した構造物の振動解析を行なうために必要な基礎・地盤系のインピーダンス関数を求める試みは、Reissner以来数多く行なわれてきた。ところで、地表面上に置かれた基礎については、地盤を半無限弾性体とみなせば、波動論を用いて解を求めることができるが、根入れ基礎や多層地盤などについては、厳密な解が求められていない。そこで本報告においては、有限要素法を用いて、層状地盤中の根入れ基礎について解析を試みた。

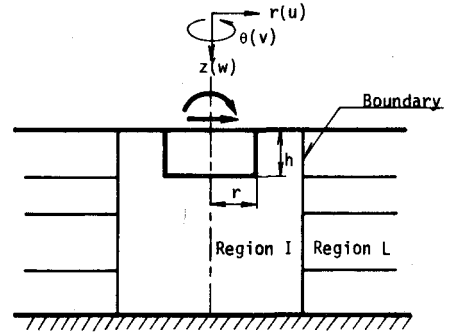


Fig. 1 Axisymmetric Model

2. 解析方法

i) モデル 解析モデルはFig. 1に示すような円筒形基礎で、領域Iをリング要素を用いて離散化した。基礎構造物が軸対称である場合、外力および変位を次式のような級数展開によって近似することが可能であり、このような三次元解析は計算量を大幅に節約することができる。

$$u = \sum_n \bar{u} \cos n\theta, \quad v = \sum_n \bar{v} (-\sin n\theta), \quad w = \sum_n \bar{w} \cos n\theta \quad (1)$$

水平振動、ロッキング振動は、 $n=1$ の項のみで近似することができる。

ii) 境界条件 領域Iから領域Lへの波動エネルギーの逸散を評価するために、Kauselらによって提案された領域IとLの連続性を表わす境界条件を適用した。領域IからLへ伝播していく波動の一般解は、 r と z の関数に分けて、次のようにかくことができる。

$$\bar{U} \exp(i\Omega t) = H F \exp(i\Omega t) \quad (2)$$

ただし、

$$\bar{U} = \begin{Bmatrix} \bar{u} \\ \bar{w} \\ \bar{v} \end{Bmatrix}, \quad H = \begin{bmatrix} \frac{\partial H_n^{(0)}(kr)}{\partial r} & 0 & \frac{n}{r} H_n^{(0)}(kr) \\ 0 & k H_n^{(0)}(kr) & 0 \\ \frac{n}{r} H_n^{(0)}(kr) & 0 & \frac{\partial H_n^{(0)}(kr)}{\partial r} \end{bmatrix}, \quad F = \begin{Bmatrix} f_1(z) \\ f_2(z) \\ f_3(z) \end{Bmatrix} \quad (3)$$

ここで、 F は未知定数を含むため、各層面での変位 X を用いて次のように離散化する。

$$F = N X \quad \text{すなわち} \quad \bar{U} = H N X \quad (4)$$

式(4)を用いると、各層の境界面における応力と変位の連続条件を構成することによって得られる固有値問題から、一般化されたレイリー波とラブ波に関して波動伝播モードが決定される。境界における変位と応力をこれらのモードを用いて表わすと、境界の動的剛性(dynamic Stiffness)が得られる。これを領域Iの剛性マトリックスに加算することによって、半無限に続く境界外の地盤の影響を考慮した解析をすることができる。

3. 解析結果

地盤モデルとして、一層地盤および基礎底面の上下で剛性の異なる二層地盤を考え、水平振動とロッキング振動の場合について、根入れ比、基盤の深さ、内部減衰、上下層の地盤の剛性比などの影響を調べた。ただし、ここに示した図は全てロッキング振動に関するもので、地盤内部減衰は10%である。Fig. 2、Fig. 3は、一層地盤の場合における根入れ比 h/r の影響をインピーダンス関数を用いて示したものである。低振動数においては、 K 、 C ともにほとんど差はないが、高振動数においては、根入れ比が大きくなる程、剛性の増加が大きく、また減衰も大きくなることかわかり、根入れによって振動が押さえられることを示している。Fig. 4、Fig. 5は、二層地盤の場合における上層と下層地盤のせん断弾性定数の比 GSS の影響を変位関数によって示したものである。 GSS が小さい程、 f_1 、 f_2 曲線ともピークが小さくなっている。特に f_2 曲線は、 a_0 が2以上の部分で非常に小さくなっており、上下層の境界面での波の反射のために散逸減衰が減少することを示しているものと考えられる。また、内部減衰の影響を調べた解析では、減衰を大きくとる程曲線がなめらかとなり、地盤の深さや剛性の比によって異なるが f_1 、 f_2 曲線とも一つのピークを有し、振動数の増加に従い次第に減少している。

本解析では、特に表面波の影響を取り入れた形となっており、これまでの解析結果からはその重要性が理解できる。そして比較的小さな領域の離散化によって解析が可能となる利点はあるが、解析手法が煩雑なため工学的には境界条件の設定をもっと簡単な形にする必要があると思われる。

・参考文献

- 1) Lysmer, J., and Waas, G., "Shear Waves in Plane Infinite Structures," ASCE, EM1, 1972, pp.85-105.
- 2) Kausel, E., Roesset, J.M., and Waas, G., "Dynamic Analysis of Footings on Layered Media," ASCE, EM5, 1975, pp.679-693.

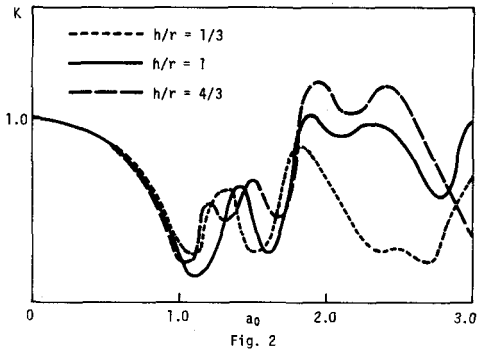


Fig. 2

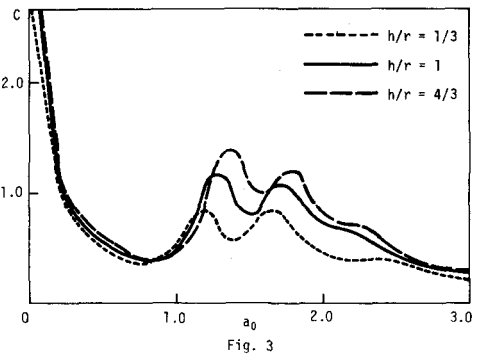


Fig. 3

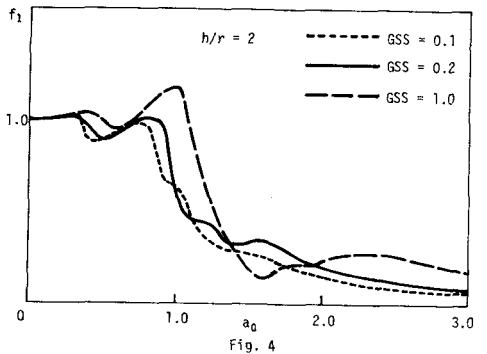


Fig. 4

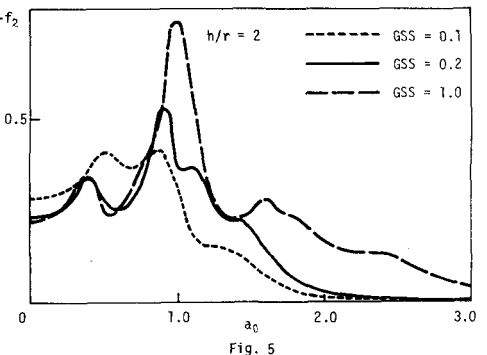


Fig. 5